

特集 1 言語聴覚士に必要な運動生理学

有酸素トレーニングの基礎理論

総説▶

田畑 稔

Minoru Tabata

要旨 有酸素運動は、簡単で手軽にかつ糖尿病や心血管疾患、悪性新生物などの生活習慣病の予防や心肺機能の機能向上、さらに精神的不調に対して効果があることは、よく知られている。しかし、具体的にどのような仕組みにより効果があり、どのような運動が有酸素運動として適しているのかについては、詳しく知られていない。本稿では、有酸素運動の目的と効果、有酸素運動の仕組み、有酸素運動トレーニングの設定ポイントについて、運動生理学という、普段あまり聞き慣れない領域で近寄り難い分野から、なるべく身近な分野となるべく解説する。

キーワード 有酸素運動・有酸素トレーニング・有酸素代謝

I. はじめに

有酸素運動は、肥満・糖尿病や心血管疾患などの動脈硬化性疾患における疾患発症リスクを軽減するほか、悪性新生物の発症・抑制や介護度、認知症進行の予防へ効果があり、精神活動においても、精神的不調の予防や抑うつ状態の改善効果などが認められている。また、現在、国民の健康長寿を延伸する施策が打ち出されているが、その有効な一手段となる可能性が高い運動としても認識が高まっている。この総説では、有酸素運動の構成要素や仕組みと臨床効果および実施方法を解説する。

II. 有酸素運動の概要について

有酸素運動とは、体内に貯蔵されている糖質や脂質と酸素を基に、骨格筋を収縮するエネルギー源となるアデノシン三リン酸 (ATP) を供給し続けながら行う運動のことを示しており、比較的長時間、運動の継続ができるウォーキングやジョギング、サイクリング、水泳、エアロビクスなどが該当する¹⁾。

有酸素運動のエネルギー源は、食事や飲料等により摂取した糖質が、インスリンの作用により肝臓や骨格筋へ取り込まれる。しかし、臓器における糖質の取り込み量に制限があり、取り込みきれなかった糖質は、脂質の中性脂肪として体内へ貯蔵される¹⁾。

ところがある程度の時間、有酸素運動を継続すると体内の糖質貯蔵量が減少するため、糖質の代わりに脂質が ATP 産生の基として動員されるようになる。

脂質は、そのままでは ATP を産生する基として利用することができないため、体内の脂質は分解されて遊離脂肪酸となり ATP 産生へ動員される。この遊離脂肪酸は、体内では大量に存在しており、ほぼ枯渇することなく骨格筋のミトコンドリアへ運ばれて ATP を生成する¹⁾。

III. 無酸素運動の概要について

運動を開始して約 3 分間は、骨格筋や肝臓に蓄えられた糖質や骨格筋に貯蔵されているリン酸や ATP を分解することによって得られる無酸素代謝のエネルギーを基に骨格筋が収縮して運動が行われる¹⁾。

この ATP 生成過程は、酸素を利用しないため、無酸素運動と呼ばれている。無酸素運動の状態が運動を開始して 3 分程度以上経過すると、骨格筋内のリン酸や ATP が枯渇するため、ATP の産生は有酸素代謝を行うミトコンドリア内のクエン酸回路で始める¹⁾。

クエン酸回路は、代謝の過程で副産物となる水と二酸化炭素を生成するが、これらを体外に放出し続ける限り、ほぼ無限に ATP を産生し続けることができるため、有酸素運動は長時間継続することができる。

IV. ATP からエネルギーを生成する仕組み

ATP のリン酸結合は、高エネルギーリン酸結合と呼ばれ、ATP がリン酸を 2 個結合しているアデノシン二リン酸 (ADP) と 1 つのリン酸に分解することでエネルギーを放出する²⁾(図 1)。

東京保健医療専門職大学リハビリテーション学部理学療法学科

[連絡先] 田畑 稔: 東京保健医療専門職大学リハビリテーション学部理学療法学科 (〒135-0043 東京都江東区塩浜 2-22-10)

TEL: 03-6272-5671 (代) 内線 401 FAX 03-6272-5672 (代) E-mail: m-tabata@tpu.ac.jp

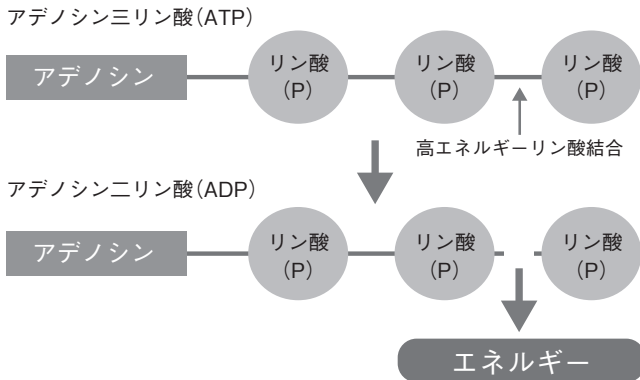


図1 アデノシン三リン酸よりエネルギーを発生する仕組み (岐阜市パーソナルトレーニング Cocona HP より)

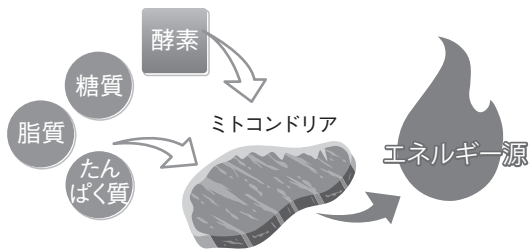


図2 ミトコンドリアの役割(NPO 法人 医療機関支援機構 HP より)

1. ミトコンドリアの機能

ミトコンドリアは、骨格筋細胞にも存在する小器官で独自に分裂・増殖を行う。ミトコンドリアは、糖質、タンパク質、脂肪の各栄養素から分解されたグリコーゲン、アミノ酸、遊離脂肪酸と酸素を基に ATP を産生し、体内のエネルギーの 90% 以上を産生する機能がある³⁾(図2)。

2. ATP を再合成する仕組み

骨格筋内に貯蔵されている ATP 量はごく少量のため、運動を継続するためには ATP を再合成する必要がある。ATP を再合成する系は、三種類存在し、無酸素系の「クレアチンリン酸系 (ATP-CP) 系」「乳酸 (解糖) 系」と「有酸素系」と呼ばれている⁴⁾。

3. クレアチンリン酸 (ATP-CP) 系

ATP-CP 系とは、骨格筋内のクレアチンがリン酸と結合してクレアチンリン酸となり、ADP へリン酸を与えて ATP を再合成するという仕組みとなるが、骨格筋内クレアチンリン酸の貯蔵量に限りがあるため、ATP-CP 系の作動持続時間は、およそ 8~10 秒程度と理論づけられている。この系は、代謝の過程で酸素を使用していないため、無酸素代謝となる⁴⁾(図3-b)。

4. 乳酸 (解糖) 系

骨格筋内に貯蔵されている糖質であるグリコーゲンは、ピルビン酸に分解されてミトコンドリアで代謝される。ところが、エネルギー需要が高まった状態で急速にグリコー

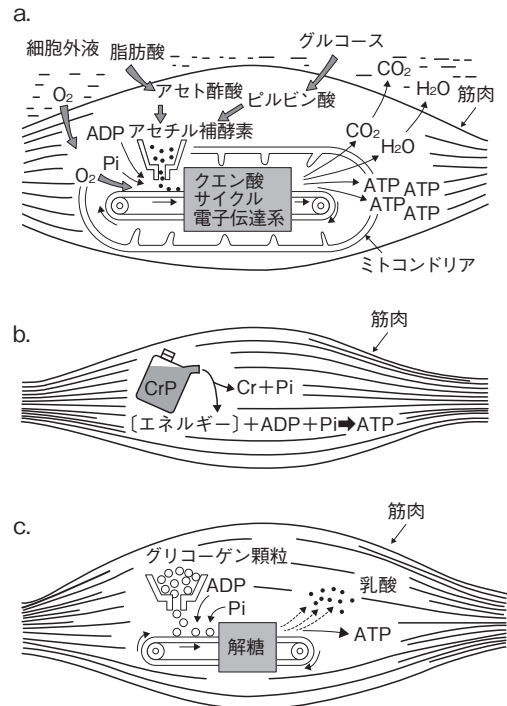


図3 ATP を再合成する方法

- ミトコンドリア内の好気性エネルギー産生機構による大量の ATP の再合成
- クレアチンリン酸 (CrP) 機構による ATP の再合成
- 乳酸系機構による ATP の再合成

ゲンが分解すると、ピルビン酸は一時的に乳酸へ変化し、この乳酸を解糖することで ATP の再合成を行う。乳酸を解糖する系を乳酸系と呼び、最大 30~60 秒程度の骨格筋収縮が可能であるため、乳酸系のほかに解糖系とも呼ばれている⁴⁾(図3-c)。

5. 有酸素系

有酸素系は、ピルビン酸や脂肪から分解した遊離脂肪酸から生成されるアセチル補酵素 A (アセチル CoA) が複数の過程を経て、ミトコンドリア内でクエン酸回路 (TCA 回路 (トリカルボン酸回路: Tricarboxylic acid)) に取り込まれ、多くの ATP が再合成される (図3-a, 図4)。

有酸素系は、代謝の過程で酸素を必要とすることから、有酸素系と呼ばれ瞬時的なエネルギー供給には適していないもののエネルギー供給量が大きく、遊離脂肪酸は、体内で大量に存在するため長時間にわたり ATP の再合成が可能となる⁴⁾。

6. 運動継続時間と ATP 再合成過程との関連

ADP から ATP を再合成する仕組みは、クレアチンリン酸系、解糖系、有酸素系の 3 種類あり、無酸素代謝によるクレアチンリン酸系は、約 8~10 秒間持続することが可能で、解糖系においても 1~3 分間程度は、エネルギー供給を持続することができる。3 分間以上運動を継続するためには、クエン酸 (TCA) 回路にて有酸素代謝による

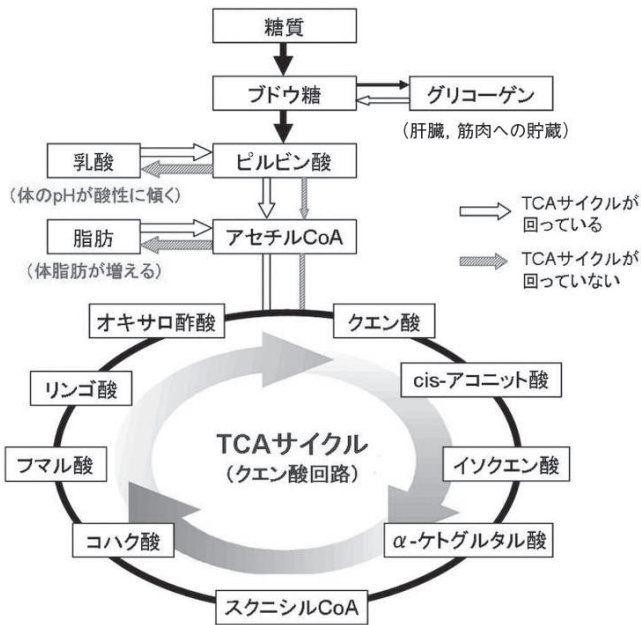


図4 クエン酸回路(株式会社玄米酵素 HP 改変)

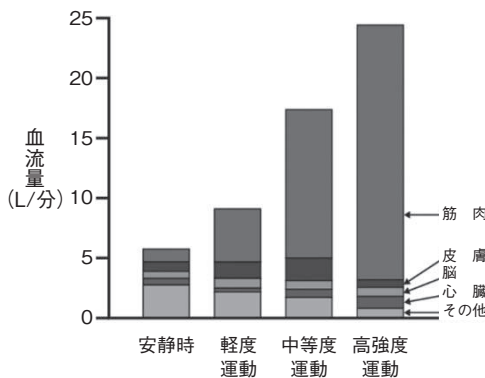


図6 運動時の血流分配⁵⁾

ATP 再合成が必要となる³⁾(図5)。

7. 安静および運動時の各臓器への血流配分

運動時は、運動の強さに依存する骨格筋への血液配分量となり、骨格筋に比して腎臓および肝臓など内臓器官への血液配分量は減少する。軽い運動強度で約50%、中等度の運動強度で約60~70%、高強度の運動では80%以上の血液循環量が骨格筋へ配分される⁵⁾(図6)。

8. 運動時心拍出量の調整

心拍出量は、安静時約5L/分程となるが、心拍出量は、1回拍出量と心拍数の積によって規定されるため、運動時の心拍出量と1回拍出量と心拍数との推移は、図7に示すとおりとなる。

1回拍出量が約2倍弱、心拍数が2.5倍程度となるため、最大運動時は、心拍出量が安静時の約5倍の25L/分程度まで増加し、骨格筋へ酸素が搬送される⁵⁾。

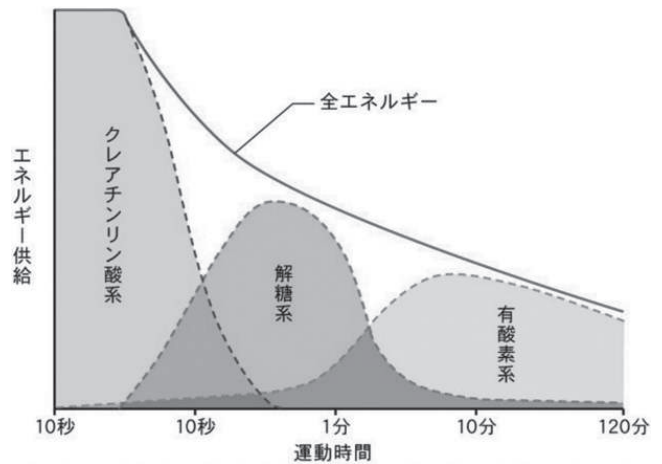


図5 運動継続時間と3つのATP再合成³⁾

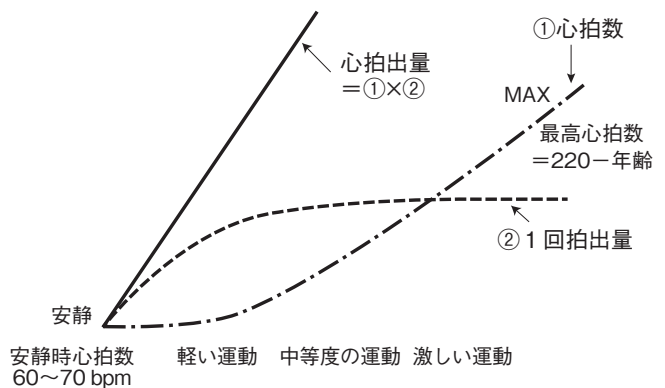


図7 心拍出量と1回拍出量と心拍数の関係(鹿児島県国民健康保険団体連合会 HP 改変)

V. 有酸素運動の目的と効果

1. 有酸素運動の目的

有酸素運動は、体内の糖質、脂質を利用して、骨格筋の運動を行うことで呼吸器や循環器および骨格筋機能や代謝機能の向上が期待できる。

2. 運動生理学的観点

有酸素運動を続けるために、大量の酸素を肺に取り込む機能が必要であり、加えて、肺で取り込んだ酸素を骨格筋へ運ぶために呼吸器と循環器の機能が極めて重要となる(図8)。

安静時の呼吸は、1回あたりの換気量300mLを毎分約10回程度の頻度で行うが、最大運動時は1回換気量が5~10倍となり、呼吸回数も3~4倍増加し1分当たりの換気量は100L程度まで増加することができる⁵⁾。

心拍数は、心臓収縮時間より理論上、上限(220-年齢)が決まっており、より多くの酸素を体内へ送り出すために、心拍数が上昇しても上限に達し、心拍出量を増やすために心拍数以外の要素を増加させる必要がある。

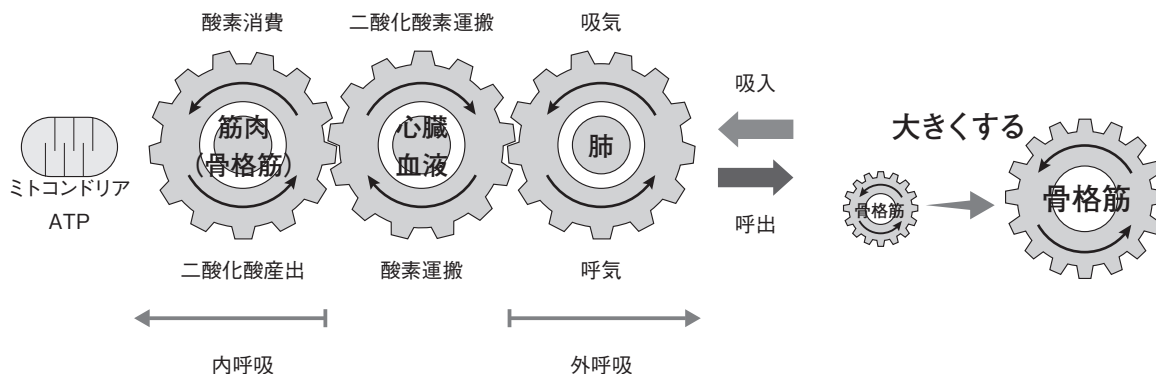


図8 ワッターマンの歯車⁶⁾



図9 有酸素運動によるミトコンドリア増加の仕組み

心拍出量を増加する方法として、心臓の1回拍出量を増加するあるいは骨格筋の酸素利用能を増大する方法がある。心臓の1回拍出量は、短時間の運動トレーニングにおいて顕著な上昇効果を期待することはできないが、長期間の有酸素運動を実施することで、自律神経系の機能改善に伴い1回拍出量の増加が期待できる⁵⁾。

骨格筋の酸素利用能を増大するためには、継続的に有酸素運動を行い骨格筋内のミトコンドリアに存在するクエン酸(TCA)回路を活性化することで、骨格筋の酸素利用能が向上する⁵⁾。つまり、有酸素運動は、酸素を上手に利用するために行う骨格筋トレーニングと言っても過言ではない(図9)。

骨格筋は、大きく分けると速筋(白筋)と遅筋(赤筋)の2種類(図10)があるが、ミトコンドリアが豊富に存在している骨格筋は、遅筋(赤筋)であり、ミトコンドリアを増加させるのであれば、有酸素運動の方が効果的である⁷⁾。

3. 運動強度および運動時間と利用エネルギー源について

有酸素運動のエネルギー源は、運動強度が低い運動かつ長時間行える運動のほど脂質利用の比率が増加し、筋力増強トレーニングや短距離走など短時間かつ運動強度が高い

無酸素運動において、糖質の利用比率が高まる⁸⁾(図11)。

4. 有酸素運動の効果

有酸素運動は、クエン酸(TCA)回路により酸素を使いながら糖質や脂質をエネルギー源としてATPを再合成し続けるため、体内の中性脂肪や内臓脂肪の減少効果が認められている。

特に内臓脂肪が過多となると、アディポサイトカインと呼ばれる炎症物質を分泌し高血糖、脂質異常、高血圧、動脈硬化などの状態をもたらすことから動脈硬化性疾患が進行し発症につながる⁹⁾。

有酸素運動は、善玉コレステロールと呼ばれている高比重リポタンパクコレステロールが上昇する効果があり、善玉コレステロールは、動脈硬化を改善する効果があることから冠動脈および脳血管疾患や高血圧症の発症を予防する効果がある⁹⁾。

さらに、有酸素運動は、ブドウ糖が体内へ取り込まれる能力を改善するため、糖尿病によりインスリン作用が障害されるインスリン抵抗性の改善へ役立ち、高血糖状態等の糖代謝異常などさまざまな生活習慣病の原因に対して、予防や改善する効果がある⁹⁾。また疫学的には、悪性新生物に対する抑制効果も認められつつある。

厚生労働省の運動基準改定検討会(平成24年11月27日)において、有酸素運動の効果として、下記の効果が報告¹⁰⁾されている。

1. 動脈硬化性の病気、特に心筋梗塞の危険性を減少
2. 体脂肪を減らし体重のコントロールに有効
3. 脂質異常症の予防・改善に有効
4. 高血圧の予防・改善に有効
5. 糖尿病やメタボリックシンドロームの予防・改善に有効
6. 骨粗鬆症による骨折の危険性を減少
7. 筋力を増し、色々な身体活動の予備力が向上
8. 筋力とバランス力を増やし、転倒の危険性を減少
9. 乳がんと結腸がんの危険性を減少
10. 認知症の予防・改善に有効

筋肉繊維の2タイプ

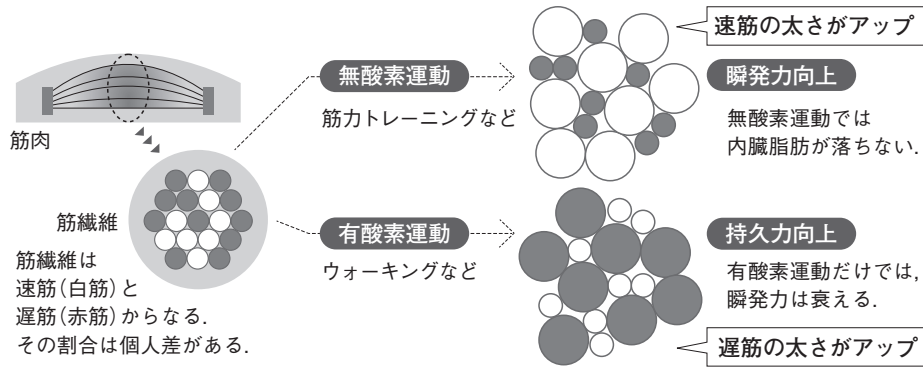


図 10 有酸素運動により赤筋線維が太くなる (TDK HP：筋力も磁力も酸素が決め手より)

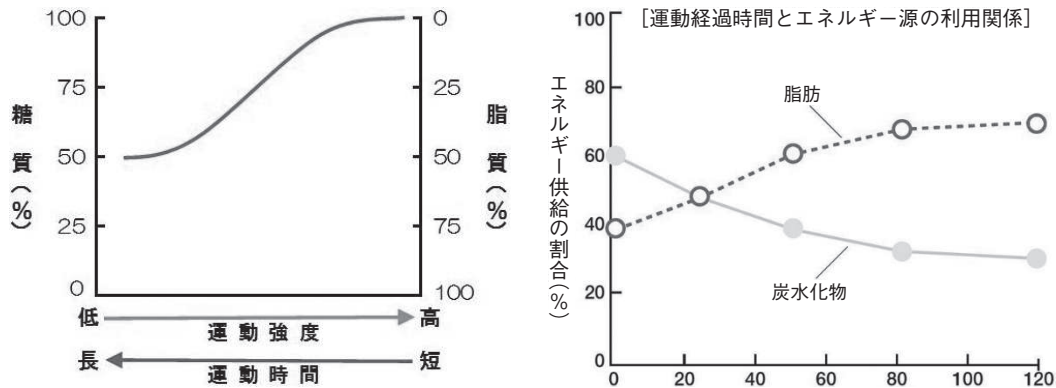


図 11 運動強度、運動時間とエネルギー供給源の関係⁸⁾

11. 睡眠障害の改善
12. ストレスの解消、うつ病の予防・改善に有効
13. シェイプアップし、自己イメージが改善
14. 家族や友人と身体活動の時間を共有
15. 良い生活習慣が身につく、悪い生活習慣を止めるのに有効
16. 老化の進行を防ぎ、QOL（生活の質）の改善に有効

5. 有酸素運動の種類

有酸素運動は、全身の比較的大きな筋肉を律動的かつ持続的に運動を行うこととなる。主な種類として屋外で行うウォーキングやジョギング、エアロビクス、サイクリング、ハイキング、トレッキング、クロスカントリーなどがある。

特にウォーキングは、運動経験がない方にも手軽に導入することができる運動で、全身の筋肉がリズムカルに運動し、骨格筋活動に必要なエネルギー(ATP)を再合成し続ける必要があるため、血液中の酸素を大量に利用するため血液循環量も増加する¹⁾。

有酸素運動は、室内でも実施可能であり、代表的な室内運動として、体操、踏み台昇降、椅子に座って足踏み、膝上げ運動、ハーフスクワット、太極拳、ヨガなどが挙げられる¹⁾。

日常生活の身体活動においても屋内の掃除、家財道具の

片づけ、子どもと遊ぶ・動物の世話など時間をかけて行うことに加えて、移動を車から自転車、自転車から徒歩へ、階段とエスカレーターがある場合は、階段を選ぶ、上り階段は一段飛ばして上る、通勤帰りは一つ手前の駅で下車して歩く、電車内では着席せずに立つ、布団干し、窓拭き、フロアの雑巾がけやお風呂掃除など掃除を小まめにかつ念入りに行うことなど、日常生活の工夫を行うことでも有酸素運動を実施することができる。

VI. 運動処方の方考え方

1. 運動処方の方考え方

運動処方方は、運動を行う人の個別性に配慮した上で運動の効果を加え、運動により発生するリスクを最大限回避するための具体的な方法を示すことになる。運動処方方の内容としては、運動の種類、強度、持続時間、頻度を的確に提示した上で運動時の注意事項を明確にした安全で効果的な運動を継続する指導を行う⁵⁾(図 12)。

運動の種類、強度、持続時間、頻度における留意点として

1. 運動の種類：種目選択の上、個人の運動嗜好も重要な要素となる。

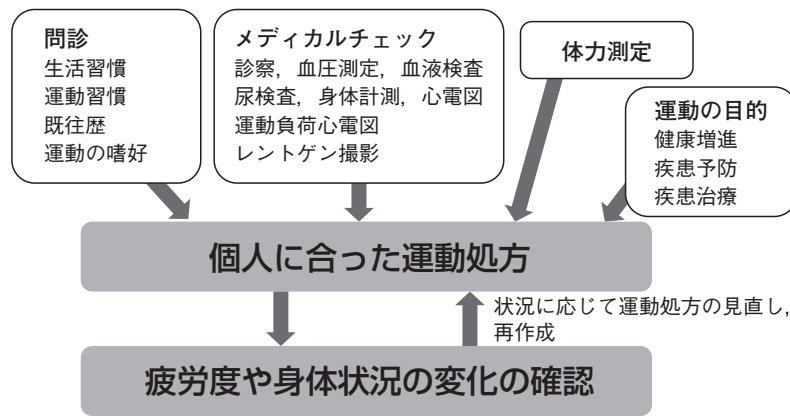


図 12 運動処方の手順(長寿科学振興財団 健康長寿ネット HP より)

表 1 生活習慣病 運動指導前の情報収集：注意すべきポイント

<ul style="list-style-type: none"> ・病歴：心臓病などの指摘を受けたことがあるか？ ・治療中の病気(高血圧, 糖尿病など) ・内服薬の有無, 種類 ・主治医の指示：(運動制限？ 運動を勧められているか？) ・自覚症状：運動中や終了後などに胸苦しさを感じたり, 意識を失ったりしたことがないか？ ・足, 膝, 腰などの痛みやしびれ ・運動で症状が悪化するか？ ・家族歴：血縁者に突然死や, 50 歳以下で心血管疾患となった人がいるか？ ・健診：定期的に健診を受けているか？ 受けている場合には, 血液検査, 心電図, 眼底などの異常の有無
--

2. **運動強度**：運動強度は, 簡単に判断する方法として心拍数と自覚的運動強度がある。

3. **持続時間と頻度**：エクササイズガイド¹⁰⁾は, 頻度や時間にあまりこだわらず, 週あたりの運動目標設定が望ましいとされている。

4. **注意事項**：障害防止のためのウォーミングアップ実施や服薬中の場合, 経口血糖降下薬などの運動実施時間帯, 降圧剤服用中の場合, 心拍数が運動強度の目安とはならない場合があることなどを事前に十分指導することが大切である。

2. 運動・身体活動を指導する際のリスクマネジメント

NPO 法人日本健康運動指導士会による特定保健指導における運動指導マニュアル¹¹⁾によると, 以下の留意事項を挙げている。

1) 対象者のリスク把握

既往歴, 現病歴, 健診結果を確認し, 運動指導の適応があるかどうかを判断する(表 1)。

これまで運動中や終了後に胸苦しき, 圧迫感, 脈の乱れや気を失ったりしたことがあるかなどの循環器疾患を疑わせるような症状や, 足・膝・腰などの痛みやしびれ感など整形外科的症状がないかどうかを確認する。

これらの症状がある場合には, 普段の日常生活でもあるのか, 運動すると悪化するのかなどの情報を得ておく。

2) 事故防止対策の徹底

1. **運動実施前の体調確認**：頭痛や熱などのかぜ症状, 腹痛や下痢, 寝不足や二日酔いなどがある場合は, 運動の実施を見合わせる。安静にして数回測定した。運動前の血圧が 160/100 mmHg を超える場合には, 筋力トレーニングを控え, 軽い有酸素運動にとどめる。運動前の血圧が 180/110 mmHg を超える場合は原則的には運動を中止する。

2. **シューズや服装**：こまめに体温調節ができる服装がよい。夏は熱の放散を考えた服装, 冬は重ね着をして体温の上昇に伴って脱衣ができるようにすることが望ましい。動きにくい服装は, 転倒の回避動作などの妨げとなる。緩衝機能の優れた運動に適した靴を着用することを勧める。

3. **安全に配慮した運動プログラムの実施, 運動中の症状の確認**：自覚的運動強度や心拍数を活用し, 運動強度を確認しながらプログラムを進行させていく。胸痛, 動悸, めまいやふらつき, 冷や汗, 強い空腹感やふるえ, 関節や筋肉の強い痛みなどの症状が起きた場合は直ちに運動を中止し, 指導者にすぐに訴えるべきであることを, 事前に知らせておく。

4. **脱水症対策**：運動の前・中・後にこまめに水分を勧める。15 分に 1 回程度は口に含むように声がける。激しい運動, または長時間の運動の場合には, 運動前後に体重測定を行い, 水分喪失量を確認する。

5. **救急体制の整備**：運動中の事故に備え, AED の設置, 救急トレーニング, 医療機関との連携体制の整備が必要である。定期的に職員の救急トレーニングを実施して, 関係者への連絡と役割分担, 蘇生法, 搬送のシミュレーションをしておくことが大切である。

6. **運動終了後のリスク管理**：運動終了後の疲労感や関節の痛みなどの状況の有無を確認する。疲れや痛みが翌日まで残る場合には運動強度や運動量, フォームに問題がある

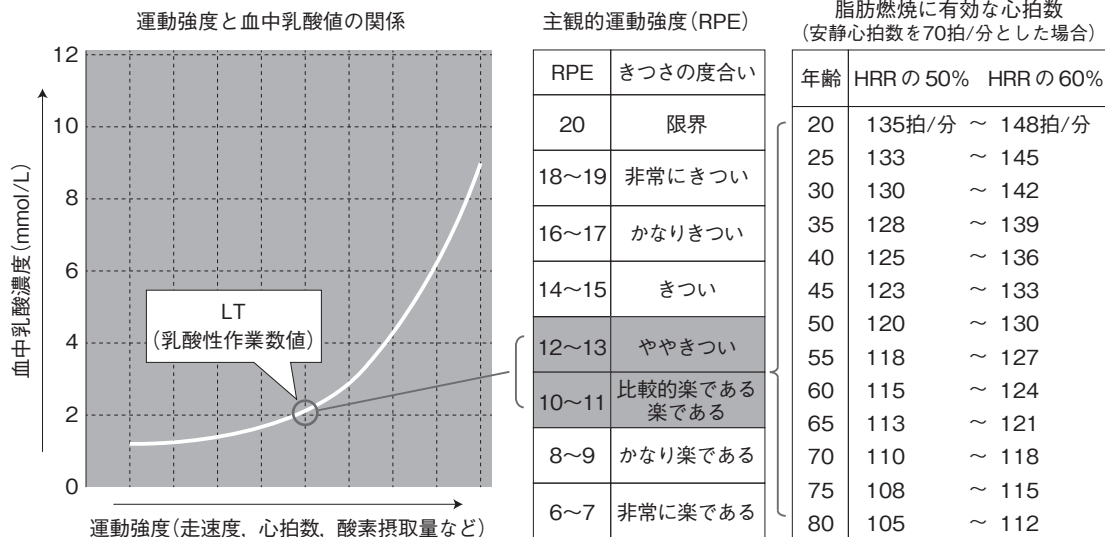


図 13 主観的運動強度スケールと心拍数と運動強度の関係(横浜市スポーツ医科学センターHP より)

可能性があるため、運動方法を見直し、本人に合った方法へと修正していく。

VII. 有酸素運動の処方 (FIIT ; 頻度 (F : frequency)・強度 (I : intensity)・持続時間 (T : time of duration)・運動の種類 (T : type of exercise)) について

有酸素運動は、必ず、個人の体力や運動機能に合わせて運動頻度、強度、持続時間、種類「frequency, intensity, time of duration, type of exercise : FITT」を設定することが重要である。

単に20分間、運動を続けたことが有益な有酸素運動を行ったことになるとは限らない。運動を指導する対象者の体力や身体運動能力を見誤りFITT処方を行うと無酸素運動の要素が加わった有酸素運動を行うことがあり、むしろ逆効果となることがある。

アメリカスポーツ医学会による運動処方の指針によると生活習慣病を予防するために効果的な有酸素運動は、「中等度の運動強度で有酸素運動を少なくとも週5日、または高強度の運動強度の有酸素運動を少なくとも週3日、あるいは中等度と高強度の有酸素運動を組み合わせた週3~5日の運動が推奨される」とされている¹²⁾。

特に、体力レベルの低い人にとって、2METs (安静時の2倍の運動強度)程度で極めてゆっくりとしたウォーキングであっても代謝面で十分な運動であると述べられている¹²⁾。

1. 運動の頻度 (F : frequency) について

アメリカスポーツ医学会による運動処方の指針によると、運動強度が心拍数予備量の60~80%、目標至適心拍数の77~90%の運動強度で週3回行えば、最高酸素摂取量の維持向上が十分できるが、運動強度が至適運動強度 (上記)の最低レベルの場合、週3回では不十分であるとされてい

る¹²⁾。

運動耐容能が3~5METs (日常生活活動の運動強度レベル)の人は1日1~2回の頻度、5METs (軽いスポーツレベル)以上の人は、週3~5回の運動頻度が推奨されている¹²⁾。

身体活動量が低下している人は、週2回の運動で有酸素運動能力は向上するが週3~5回行うことでさらなる改善効果が期待できるとされているが、この回数以上の頻度で運動を実施しても天井効果となる¹²⁾。

2. 運動の強度 (I : intensity) について

運動強度の目安として心拍数を用いる場合、運動強度と心拍数を直接測定して評価する直接法のほかに、Karvonen法として知られている予備心拍数法がある。

Karvonen法は、目標至適心拍数 = [(最大心拍数 - 安静時心拍数) × %強度] + 安静時心拍数の式より、運動時の目標心拍数を決定する¹²⁾。

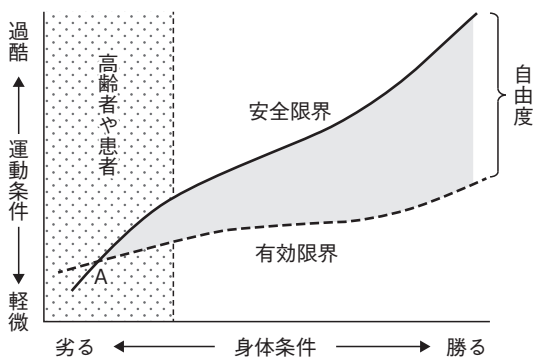
%強度の設定については、高齢者が0.3~0.4、中年が0.4~0.6、鍛錬者は0.6~0.7となる¹²⁾。心不全の場合は、0.25~となる。

運動強度の目安として主観的強度を用いる場合、自覚的運動強度 (ボルグスケール) を使用して (ややきつい~きつい) 強度が至適強度として勧められている。なお、自覚的運動強度は、直接測定される運動強度あるいは予備心拍数法とは必ず一致するとは限らないので、留意が必要である (図13)。

3. 運動強度の設定における留意点

運動強度の設定は、身体機能の優劣により、運動強度を設定する自由度が大幅に異なることが挙げられる¹³⁾ (図14)。

高齢者や患者においては、運動の安全限界と有効限界との幅が狭く、的確な運動強度を設定するために、詳細な運



運動処方自由度(池上, 1985 を改変)

高齢者や種々の疾患を有する患者では、運動処方の自由度は小さいか、あるいは運動禁忌となる。

図 14 運動処方の自由度(札幌医科大学保健医療学部 HP より)

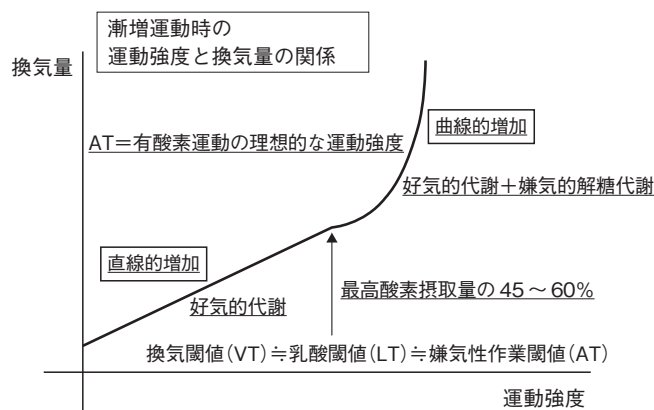


図 15 嫌氣性代謝閾値と換気量との関係

VT : ventilation threshold LT : lactate threshold

AT : anaerobic threshold

動負荷試験を実施する必要がある¹³⁾。

4. 運動強度の留意点として嫌氣性代謝閾値(有酸素運動の安全限界点)について

有酸素運動の理想的な運動強度とされる嫌氣性代謝閾値とは「代謝性アシドーシスとそれに伴うガス交換の変化の起こる直前の仕事量、または酸素消費量」と Wasserman が定義している⁶⁾。

嫌氣性代謝閾値を超えると体内の乳酸濃度が上昇するため、乳酸は体内の重炭酸イオンによって中和され、その副産物として二酸化炭素をより多く放出するため、呼吸の換気量がより増大する。自覚症状としては、呼吸し難い(息切れ)状態となる。

嫌氣性代謝閾値以下の運動強度を確認する簡単な確認方法として、運動中に対象者へ30秒程度の積極的な会話をを行い、楽に会話が可能か?を確認することである。つまり、息切れがなければ、まだ呼吸の換気量に予備力があるので嫌氣性代謝閾値の手前の運動強度となる¹⁾。

嫌氣性代謝閾値を超えた場合、二酸化炭素の産生がさらに亢進されることから、呼吸の換気量も増大するため、換気量の予備力はなくなり、呼吸し難い(息切れ)状態が増す。当然、楽に会話ができる程の余裕はない。

嫌氣性代謝閾値による運動の有効性は、有酸素運動であるため、理論上長時間運動継続が可能であること、代謝や内分泌系の変化を生じにくいこと、生活習慣病を有する人に対して運動リスクが少なく安全に運動が行える運動強度であること、運動の継続性に優れていることが挙げられる¹⁾。

嫌氣性代謝閾値の理論的背景として、漸増運動(連続的に運動負荷を増やす)時の分時換気量は、最大酸素摂取量の45~60%強度までは直線的に上昇し、それ以上の運動強度で曲線的に上昇する。

この現象は、有酸素運動中に運動強度が増すとある時点からATPが不足するため、急場しのぎとしてATPを産生するために骨格筋の嫌氣性代謝(解糖系)を作動させて

ATPの再合成を行うことになる¹⁾(図15)。

嫌氣性代謝閾値を超えた有酸素運動では、解糖系の作動により血液中へ乳酸が放出されるため、血液中の乳酸濃度が上昇し始めるポイントは乳酸閾値(lactate threshold: LT)と呼ばれ、息切れを起こす閾値でもあるため換気閾値(ventilation threshold: VT)あるいは嫌氣性作業閾値(anaerobic threshold: AT)と呼ばれる¹⁾。

嫌氣性代謝閾値を超えた運動強度で運動を継続すると、交感神経系の活性や血液中のカテコラミン濃度のほか、ストレスホルモンも上昇する。さらに、心臓の1回拍出量も減少し始め、不整脈が発生しやすくなり心臓への負荷が増大する閾値¹⁾であることを十分に認識していただきたい。

5. 持続時間(T: time of duration)について

運動の継続時間は、有酸素運動能力の向上を目標する場合、最低20分の有酸素運動が勧められるが、実際は、5~10分間の運動も効果があることが認められており、1日あたりの運動時間が合計20分程度とする設定が一般的となる。

厚生労働省により作成された「健康づくりのための身体活動指針(アクティブガイド)」においては、生活習慣病リスクを軽減し、健康寿命延伸のための運動として、中等度強度の運動を毎日の生活にさらにプラス10分多く取り入れていくことを推奨している¹⁴⁾。

6. 運動の種類(T: type of exercise)について

運動の種類として、運動経験が全くない方に対しても手軽に導入することができるウォーキングから、本格的な有酸素運動としてジョギング、トレッキングなどがあり、室内でもできる運動として体操、太極拳、ヨガがあるほかに、日常生活の身体活動の工夫を行うことで有酸素運動を実施することができる¹⁾。

自発的な運動が困難で身体活動が不自由な場合は、他動型の運動機器による運動効果も認められているので、他動型の運動器具による運動も一考となる。

有酸素運動は、体力や身体運動レベルなどが各個人によって大きく異なり、安全で手軽に運動を行うためには、身体的な特性（既往歴、治療中疾患の有無、全身持久力、筋力、柔軟性など）を考慮して、どの運動が対象者に対して適しているのかについて熟慮する必要がある¹⁾。

有酸素運動の目的が健康増進を図る場合と疾患リスク軽減のために行う場合では、運動内容や強度、時間、頻度が異なる。疾患を有する場合は、該当する各学会により示されているガイドラインに従い運動処方を行うことが重要である。

運動処方を不適切に行った場合、骨格筋・関節の障害や心血管疾患、突然死を招く危険性が十分あり、対象者に関しては、現在の身体状況のみならず、既往歴や疾患の治療歴などをよく確認したうえで、運動の経験や習慣の有無などにも熟慮した運動の種類を選択することが大切となる。

有酸素運動の効果が現れるには、一定の期間運動の継続が必要となるため、運動を習慣化できるように個人の好みに合わせて、楽しく取り組める運動の種類を選択し、安全で心地よい運動が行えるように運動の設定を行う必要がある。

7. 有酸素運動を中止する基準

日本リハビリテーション医学会による「リハビリテーション医療における安全管理・推進のためのガイドライン」¹⁵⁾におけるリハビリテーションの中止基準として、以下の項目が挙げられている。監視型の運動を行う場合は、下記の基準を遵守し、非監視下において運動を行う場合は、対象者に対して、下記の内容を十分に指導することを厳守していただきたい。

1) 積極的なリハを実施しない場合

1. 安静時脈拍 40/分以下または 120/分以上
2. 安静時収縮期血圧 70 mmHg 以下または 200 mmHg 以上
3. 安静時拡張期血圧 120 mmHg 以上
4. 労作性狭心症の方
5. 心房細動のある方で著しい徐脈または頻脈がある場合
6. 心筋梗塞発症直後で循環動態が不良な場合
7. 著しい不整脈がある場合
8. 安静時胸痛がある場合
9. リハ実施前にすでに動悸・息切れ・胸痛のある場合
10. 座位でめまい、冷や汗、嘔気などがある場合
11. 安静時体温が 38 度以上
12. 安静時酸素飽和度 (SpO₂) 90% 以下

2) 途中でリハを中止する場合

1. 中等度以上の呼吸困難、めまい、嘔気、狭心痛、頭痛、強い疲労感などが出現した場合
2. 脈拍が 140/分を超えた場合

3. 運動時収縮期血圧が 40 mmHg 以上、または拡張期血圧が 20 mmHg 以上上昇した場合
4. 頻呼吸 (30 回/分以上)、息切れが出現した場合
5. 運動により不整脈が増加した場合
6. 徐脈が出現した場合
7. 意識状態の悪化

3) いったんリハを中止し、回復を待って再開

1. 脈拍数が運動前の 30% を超えた場合。ただし、2 分間の安静で 10% 以下に戻らないときは以後のリハを中止するか、または極めて軽労作のものに切り替える
2. 脈拍が 120/分を超えた場合
3. 1 分間 10 回以上の期外収縮が出現した場合
4. 軽い動悸、息切れが出現した場合

4) その他の注意が必要な場合

1. 血尿の出現
2. 喀痰量が増加している場合
3. 体重増加している場合
4. 倦怠感がある場合
5. 食欲不振時・空腹時
6. 下肢の浮腫が増加している場合

VIII. おわりに

有酸素運動は、身近に存在する手軽な健康づくりや有疾患患者に対する運動療法であり、その理論的な背景を運動生理学的観点から解説した。簡単にできる有酸素運動ではあるが、有酸素運動を少し詳しく解説すると聞き慣れない言葉が数多く、やや近寄り難い分野ではあるが、有酸素運動を実施することで多面的効果をもたらす。本稿が皆さんにとって有酸素運動を理解する一助となることができれば、大変幸甚である。

文 献

- 1) 田畑 稔：有酸素運動の基本。PT ジャーナル，42：515 - 526，2008。
- 2) 宮本俊郎：筋の生理学。リハビリテーション運動生理学，メジカルビュー社，東京，2-17 頁，2016。
- 3) 木村 朗：代謝機能と運動療法。運動療法学，メジカルビュー社，東京，181-214 頁，2020。
- 4) 杉 晴夫：身体運動のしくみ。やさしい運動生理学，南江堂，東京，17-48 頁，2007。
- 5) 田畑 稔：循環機能と運動療法。運動療法学，メジカルビュー社，東京，150-180 頁，2020。
- 6) Wasserman K, et al. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. Am J Cardiol, 14 : 844-852, 1964.
- 7) 香川靖雄：ミトコンドリアのエネルギー代謝と健康。体力科学，54：7，2005。
- 8) 和田正信，松永 智，勝田 茂：筋収縮とエネルギー供給

- 系. 入門運動生理学, 杏林書院, 東京, 1-11頁, 2007.
- 9) 万行里佳: 代謝疾患と運動. リハビリテーション運動生理学, メジカルビュー社, 東京, 318-334 頁, 2016.
 - 10) 厚生労働省: 運動基準改定検討会資料. https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/other-kenkou_128596.html (2020.08.20 参照)
 - 11) 津下一代: 評価方法と運動処方. NPO 法人日本健康運動指導士会, 編. 特定保健指導における運動指導マニュアル. サンライフ出版, 東京, 123-149頁, 2007.
 - 12) American College of Sports Medicine: ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription Tenth edition, pp143-179, 2018.
 - 13) 忽那俊樹: 運動中の生体反応モニタリング. 循環器理学療法理論と技術, メジカルビュー社, 東京, 218-225頁, 2009.
 - 14) 厚生労働省. 「健康づくりのための身体活動基準2013」及び「健康づくりのための身体活動指針(アクティブガイド)». <https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple.html> (2020.08.20 参照)
 - 15) リハビリテーション医療における安全管理・推進のためのガイドライン. 公益社団法人 日本リハビリテーション医学会, https://www.jarm.or.jp/nii/iinkai/sinryo-guide/risk-manage_GL_draft.pdf (2020.08.20 参照)